

Evaluación del daño a impacto en fibras de GRC mediante ensayos no destructivos por ultrasonidos

M. G. Hernández,

Departamento de Ingeniería Civil: Construcción. UPM, España

A. Enfedaque, V. Sánchez-Gálvez,

Departamento de Ciencia e Ingeniería de Materiales. UPM, España

M. Molero

Instituto de Automática Industrial, CSIC. Madrid, España

RESUMEN

En este trabajo se presentan resultados preliminares de una amplia investigación que busca analizar la resistencia a impacto de mortero de cemento reforzado con fibra de vidrio (glass fibre reinforced cement, GRC), así como la influencia de diversos aditivos sobre la pérdida de resistencia con el tiempo. Se utilizan los ensayos no destructivos por ultrasonidos para valorar el daño a impacto en placas de GRC. La valoración de los daños se ha realizado mediante imágenes ultrasónicas (BSCAN, CSCAN y DSCAN), obtenidas a partir de inspecciones pulso/eco realizadas a las frecuencias de 2 y 5 MHz

1. INTRODUCCIÓN

El GRC es un material compuesto constituido por la unión de dos materiales con propiedades muy diferentes: mortero de cemento y fibras cortas de vidrio, proyectadas de forma aleatoria en dos dimensiones [1]. Las propiedades mecánicas del mortero se caracterizan por una resistencia a compresión aceptable, pero muy baja resistencia a tracción, lo que exige el uso de refuerzos para su empleo en construcción. En el caso de las fibras de vidrio su mayor virtud es su alto módulo de elasticidad junto a su gran resistencia a tracción. Así pues la unión del mortero y las fibras de vidrio dan como resultado un material resistente a compresión, y con una resistencia a tracción y ductilidad [2] mucho más alta de la que tiene el mortero solo. Estas características permiten su utilización como elementos constructivos sin necesidad de armaduras de refuerzo y por tanto mucho más delgados [3, 4].

El empleo del GRC en edificación y obra civil ha estado restringido a su aplicación como elemento no portante (cerramiento de fachadas, encofrado perdido, revestimiento de túneles, barreras acústicas etc.) debido a la pérdida de sus propiedades resistentes con el paso del tiempo (grave pérdida de ductilidad, acompañada por una pérdida de resistencia a tracción y a impacto). En la actualidad estos problemas se han solventado con la adición de productos químicos a la pasta de cemento [5, 6] y se ha comenzado a considerar la posibilidad de su utilización como elemento portante estructural [7, 8, 9]. Por tal motivo se considera de gran importancia realizar un estudio detallado del comportamiento mecánico del material compuesto, y en especial de sus propiedades dinámicas. Con este objetivo se ha diseñado un programa experimental destinado a caracterizar el comportamiento y características resistentes del GRC a impacto

Los ensayos no destructivos por ultrasonidos son muy usados en la industria de la construcción, tanto para el diagnóstico in-situ de las estructuras como en la investigación y desarrollo de nuevos materiales [10]. La determinación de la velocidad de propagación ultrasónica forma parte de muchas normas nacionales e internacionales [11], para establecer la relación con la resistencia a compresión del material y dar un criterio de su calidad. Sin embargo, la imagen ultrasónica ha sido menos usada en la caracterización de los materiales cementicios.

En este trabajo se exponen los resultados iniciales de un programa de ensayos para conocer las características resistentes del GRC a impacto usando una torre de caída y la evaluación del daño producido mediante ensayos no destructivos por ultrasonidos, utilizando imágenes ultrasónicas.

2. MATERIALES

Los ensayos destructivos y no destructivos se han realizado sobre una placa de GRC con dimensiones de 250x250x10 mm y cuya composición se detalla en la tabla 1.

HS-20					
fracción volumétrica fibras	cemento (kg)	arena (kg)	humo de sílice (kg)	agua (kg)	superplastificante (kg)
5%	50	50	10	33	0,5

Tabla 1. Composición GRC con Humo de sílice

3. METODOLOGÍA EXPERIMENTAL

3.1 Ensayos destructivos

La placa se ha ensayado a impacto en una torre de caída Dynatup 8250, la cual se muestra en la figura 1. La finalidad del ensayo es la obtención de la curva carga vs. deflexión, a partir de ésta podemos obtener la grafica de energía absorbida por la placa en el impacto.



Fig. 1 – Torre de caída, Dynatup, 8250, y marco de sustentación de la placa de GRC.

La torre de caída está formada por el conjunto de peso, célula de carga y penetrador, los cuales caen guiados por dos barras metálicas perfectamente rectas, que se encuentran engrasadas para minimizar el rozamiento. Los datos de la célula de carga se registran en un ordenador, ambos están conectados mediante un sistema de acondicionamiento de señal. La placa se impactó con el conjunto peso, célula de carga, penetrador, mostrado en la figura 1, desde una altura de 1 m y un peso de 11.72 kg. El peso elegido es el mínimo posible que causa el fallo de la placa.

Debido al gran tamaño de las placas fue imposible la realización del ensayo dentro de la cámara dispuesta a tal efecto en la propia torre de caída y se tuvo que construir un soporte para la colocación de la misma en la parte inferior de la torre como se puede ver en la figura 1. La condición de sustentación que se impuso en la placa fue la de empotramiento perfecto en todos sus lados. Con las condiciones anteriormente citadas, la velocidad de caída medida en el ensayo fue de 4.49 m/s. Teniendo en cuenta la velocidad de paso en el instante anterior al impacto podemos determinar la energía con la que impacta el penetrador igual a 118.14 Julios, a partir de la expresión de la energía cinética.

3.2. Ensayos no destructivos por ultrasonidos

Las medidas ultrasónicas han sido realizadas con transductores de alta frecuencia y banda ancha de 2 y 5 MHz (Krautkramer H2K y H5K) con 10 mm. de apertura y foco en agua a 33 y 83 mm., respectivamente. La placa fue sumergida en un tanque de inspección por inmersión con 3 ejes automatizados, colocada en el fondo del mismo apoyada sobre la cara más lisa. Las inspecciones se han realizado con rejilla de 5 mm. Se ha elegido la inspección automática porque nos permite obtener mayor exactitud en la medida, más uniformidad en las señales, así como optimizar el número y la distribución de inspecciones y ahorrar tiempo. El sistema ultrasónico empleado para la emisión-recepción de las señales ha sido el AIMS ULTIMO 2000, mientras que para el procesamiento de la señal se ha utilizado el sistema SENDAS. Las inspecciones ultrasónicas se han realizado mediante el uso de la técnica de pulso-eco, posicionando los transductores en su distancia focal.

4. RESULTADOS Y ANÁLISIS DE LA INSPECCIÓN

4.1. Resultados de los ensayos destructivos

El ensayo de impacto ha producido un agujero en el centro de la placa. Visualmente el agujero tiene forma circular con un diámetro aproximado de 16 mm en la superficie superior o de entrada y de 25 mm en la inferior o de salida. El resultado del ensayo de impacto se muestra en la figura 2, en forma de gráfica carga-deflexión así como la energía absorbida por la placa en el impacto.

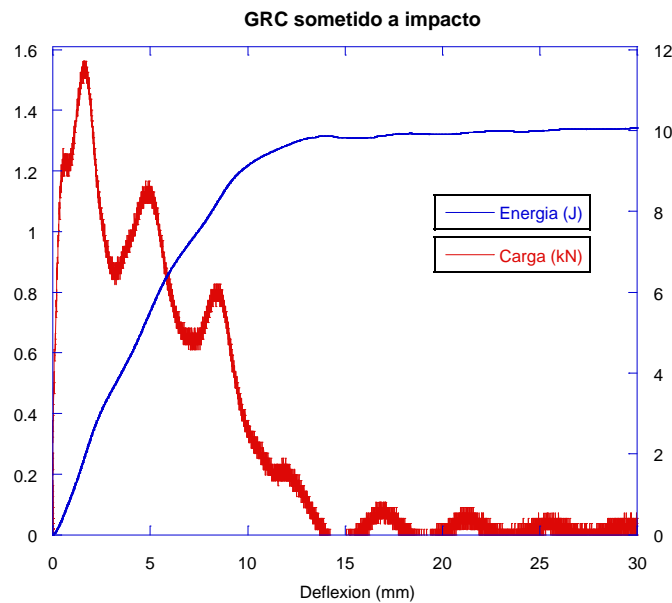


Fig. 2 – Resultados del ensayo de impacto en una placa de GRC.

4.2. Resultados de los ensayos no destructivos por ultrasonidos

Mediante la utilización del eco de interfaz y el eco de fondo se ha extraído dos tipos de información, por una parte la homogeneidad de la placa y por otra el daño causado por el ensayo de impacto. Para el estudio de la homogeneidad de la placa se ha calculado el espesor de la misma y el mapa de velocidades. El espesor nos permitirá determinar la homogeneidad dimensional y la velocidad ultrasónica la homogeneidad mecánica del material de la loseta.

Se ha realizado una inspección a 2 MHz con rejilla de 5 mm., registrándose la posición del eco de interfaz o eco producido por la superficie rugosa de la placa que es la más

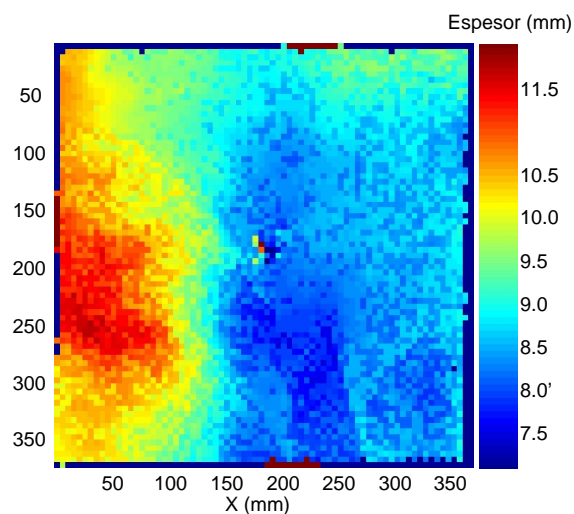


Fig. 3 - Mapa de espesores de la placa de GRC.

cercana al transductor. Utilizando la diferencia entre esta posición y la de la superficie de apoyo se ha medido el espesor. En el mapa de color de la figura 3 se observa que el espesor de la placa es poco uniforme, teniendo variaciones máximas cercanas a los 3 mm.

Para medir la velocidad ultrasónica se ha empleado el espesor calculado por el método anterior y la posición de los ecos de la superficie superior e inferior. Como se observa en la figura 4, se pueden distinguir dos zonas de la placa, la zona superior con una velocidad media de 3800 m/s y la inferior con velocidad media de 3500 m/s. La velocidad obtenida en la zona de impacto no se puede medir, ya que el eco detectado no corresponde a la superficie inferior sino a las delaminaciones producidas por el impacto

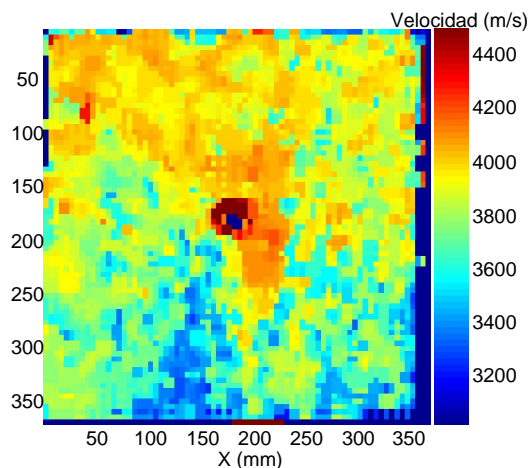


Fig. 4 - Mapa de velocidades de la placa de GRC.

La valoración de los daños se ha realizado mediante tres tipos de imágenes ultrasónicas denominadas BSCAN, CSCAN y DSCAN, obtenidas a partir de dos inspecciones pulso/eco realizadas a las frecuencias de 2 y 5 MHz, respectivamente.

Se han seleccionado dos imágenes BSCAN, que corresponderían a dos cortes perpendiculares realizados en las posiciones de ordenadas, $y = 50$ y 175 mm. Este tipo de imagen sólo es válida cuando se quiere tener una información muy localizada, concretamente en el plano en el que se realiza el corte. En la figura 5 las dos imágenes superiores han sido obtenidas a 2 MHz y las inferiores a 5 MHz. En ellas se puede observar tanto la geometría de la placa como el daño producido. En las imágenes a 5 MHz se aprecia mejor la estructura interna del material y las delaminaciones en los bordes del agujero producido por el impacto.

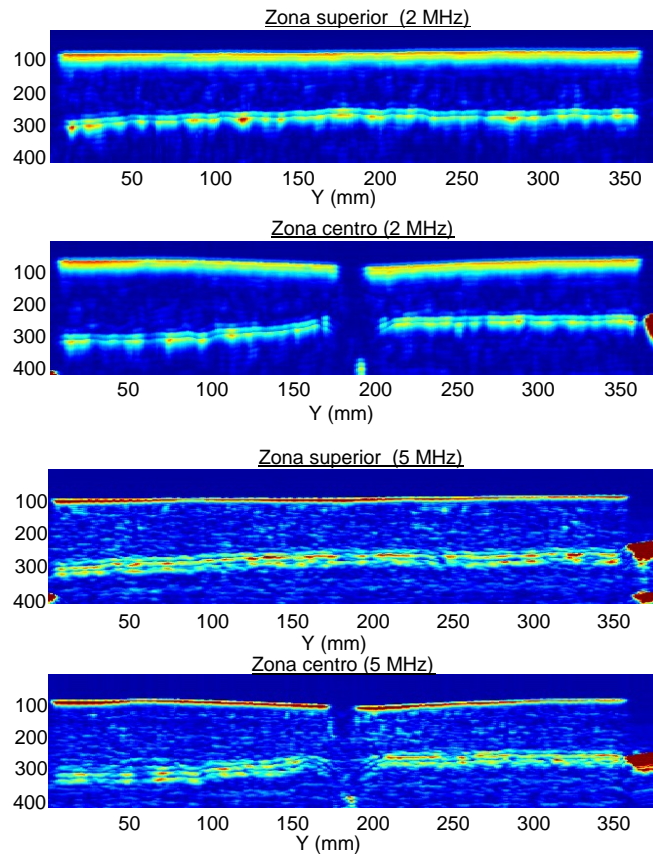


Fig. 5 - Imágenes BSCAN correspondientes a dos posiciones de la placa de GRC, obtenidas a 2 y 5 MHz.

En la figura 6 se muestran las imágenes CSCAN y DSCAN de la placa completa (arriba) y un zoom de la parte central (abajo), para apreciar mejor los efectos del impacto. Las imágenes CSCAN han sido obtenidas mediante las amplitudes de los ecos internos de la placa, mientras que las imágenes DSCAN se obtuvieron a partir de la posición de los ecos internos de la placa. Las imágenes CSCAN permiten ver claramente la extensión del daño producido por el impacto. No obstante, la heterogeneidad del material puede enmascarar daños localizados. Por su parte, las imágenes DSCAN permiten determinar más claramente la extensión y profundidad de las delaminaciones internas producidas por el impacto. En esta imagen ultrasónica se aprecia que el daño producido es casi el doble en extensión del que se puede ver externamente, mediante inspección visual.

En la figura 7 se muestra la imagen de la zona de daño producido por impacto, mediante la posición del eco de interfaz. Se aprecia de manera muy exacta, tanto la extensión como la profundidad de la depresión producida en la placa debida al ensayo de impacto.

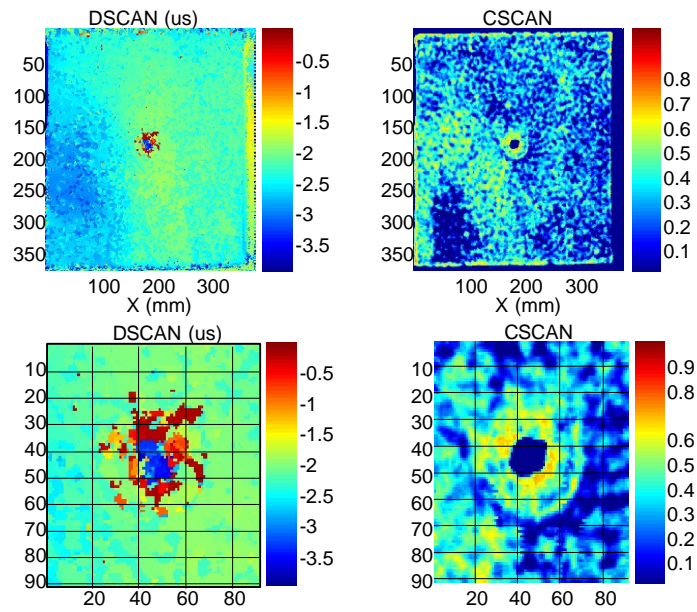


Fig. 6 - Imágenes DSCAN y CSCAN y ampliaciones obtenidas a 5MHz

A través de la figura 7, se ha determinado la extensión aproximada de la deformación, la cual es de 1200 cm^2 , así como la deformación máxima de 0.4 mm

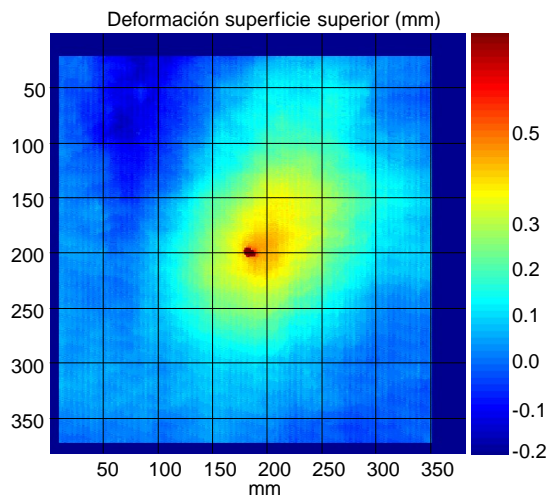


Fig. 7 – Deformación en la superficie superior de la placade GRC.

5. CONCLUSIONES

El ensayo de la resistencia a impacto en placa de GRC, mediante torre de caída, ha mostrado ser rápido y con muy alta fiabilidad en los resultados obtenidos.

Los ensayos por ultrasonidos han sido realizados mediante imágenes ultrasónicas. Los mapas de espesores y velocidad de la placa de GRC obtenidos han mostrando la poca homogeneidad y uniformidad de la misma. No obstante, dada la heterogeneidad del material, no parece que las imágenes CSCAN sean adecuadas para valorar la calidad de la fabricación o posibles daños no localizados, ya que aparentemente hay pérdidas de amplitud en zonas no dañadas de la placa. Mientras que las imágenes DSCAN han permitido determinar claramente la extensión y profundidad de las delaminaciones internas producidas por el impacto, siendo en este caso el doble de la observada mediante inspección visual. En resumen, las imágenes DSCAN se muestran como una herramienta eficaz para la valoración de la calidad de la fabricación en placas de GRC.

AGRADECIMIENTOS

Este trabajo ha sido realizado mediante la financiación del MEC dentro del proyecto BIA 2006-15188-C03-01, del P. N. I+D+i, y del M. Fomento C14/2006. La Dra. M.G. Hernández esta soportada por un contrato postdoctoral CSIC-I3P financiado por los Fondos Sociales Europeos.

REFERENCIAS

- [1] Sánchez P. L. et al. (1989). Los cementos reforzados con fibras de vidrio, *Hormigón y Acero*, 173, pp.113-126.
- [2] Sánchez P. L. et al. (1991). Comportamiento a tracción de cementos reforzados con fibras de vidrio. *Informes de la construcción*, 43, (413), pp.77-89.
- [3] Bentur, A. et al. (1990) Fibre reinforced cementitious composites. *Elsevier Applied Science. Amsterdam, Netherlands*.
- [4] Majumdar, A.J. et al (1991) Glass Fibre Reinforced Cement. *BSP Professional Books. Oxford, U.K.*
- [5] Marikinte, S. et al (1997). Durability of glass fibre reinforced cement composites. Effect of silica fume and metakaolin. *Adv. Cement Based Materials*, 5, pp. 100-108
- [6] Peled, A., Jones, J. y Shah S.P. (2005) Effect of matrix modification on durability of glass fibre reinforced cement composites. *Materials and Structures*, 38 pp. 163-171.
- [7] Cian, D. et al. (2003). GRC Precast elements for extralight self-supporting floors in offices and residential buildings, en *12º Congreso de la GRCA, Barcelona, España*.
- [8] Della Bella, M. et al. (2003). Extra Light GRC sandwich elements for roofing in industrial buildings, en *12º Congreso de la GRCA, Barcelona, España*
- [9] Ferreira, J.G. et al. (2007) Structural application of GRC intercommunication towers. *Construction and building materials* 21, pp. 19-28.
- [10] Purnell P. et al. (2004). Noncontact ultrasonic diagnostics in concrete: A preliminary investigation. *Cement and Concrete Research*, 34, pp. 1185-1188.
- [11] Komlos K. et al. (1996). Ultrasonic pulse velocity test of concrete properties as specified in various standards. *Cement and Concrete Composite*, 18, pp. 357-364.